

ANALISIS PERENCANAAN PENERAPAN PERSIMPANGAN BERSINYAL DINAMIS (*ACTUATED TRAFFIC CONTROL SYSTEM*) PADA PERSIMPANGAN DI KOTA PALEMBANG

Ferli Febrian

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya
Jl. Sriwijaya Negara Kampus Palembang
Korespondensi Penulis: febrianferli@yahoo.com.

Abstrak

Salah satu solusi alternatif bagi masalah kemacetan di Kota Palembang adalah penerapan simpang bersinyal sistem dinamis yaitu *actuated traffic control system* untuk mengatur arus lalu lintas pada persimpangan. Dalam konteks pemecahan masalah tersebut, studi ini bertujuan menganalisis kinerja simpang bersinyal yang telah direncanakan penerapan simpang dinamis dan selanjutnya dianalisis kelayakan persimpangan tersebut. Dari hasil analisis diperoleh, waktu siklus dinamis rata-rata pada lengan Kapten Arivai sebesar 44 detik dengan waktu hijau 8 detik, untuk lengan Veteran 43 detik dengan waktu hijau 6 detik, lengan Sudirman arah Polda 38 detik dengan lampu hijau 8 detik, dan lengan sudirman arah cinde 40 detik dengan waktu hijau 8 detik. Untuk nilai kapasitas lengan tertinggi berada pada lengan Sudirman arah Polda sebesar 1381 smp/jam dan terendah pada lengan Veteran sebesar 875 smp/jam, nilai derajat kejenuhan tertinggi terletak pada lengan Sudirman arah Polda sebesar 0,419 dan terendah pada lengan Kapten Arivai sebesar 0,395, Untuk panjang antrian tertinggi terletak pada lengan Sudirman arah cinde sebesar 10 meter dengan jumlah kendaraan berhenti (NSV) sebesar 443,04 smp/jam dan terendah pada lengan Veteran sebesar 7 meter dengan jumlah kendaraan berhenti (NSV) sebesar 286,74 smp/jam. Dan untuk tundaan simpang rata-rata sebesar 24,180 det/smp. Dari hasil analisis secara menyeluruh menunjukkan bahwa persimpangan Charitas sudah perlu diterapkan sistem persimpangan dinamis.

Kata Kunci : *Simpang bersinyal, Dinamis, bergerak.*

Abstract

One alternative solution for congestion problem in Palembang city is the application of dynamic systems signalized intersection for traffic control system. In the context of solving the problem, this study analyze the performance of signalized intersection which has planned implementation of dynamic intersection and analyzed the feasibility of the intersection. From the analysis the dynamic cycle time at intersection Kapten Arivai showed 44 seconds with green time 8 seconds, intersection Veteran's showed 43 seconds with green time 6 second, intersection Jendral Sudirman showed 38 seconds with green time 8 seconds, Sudirman direction on cinde showed 40 seconds with green time 8 seconds. The highest capacity of the intersection Sudirman Polda showed 1381 pcu / hour and the lowest showed 875 pcu / h, the highest value of the degree of saturation intersection Jendral Sudirman showed 0.419 and the lowest Kapten Arivai 0.395, the highest queue of the intersection Sudirman cinde direction showed 10 meters with the number of stops vehicle (NSV) 443.04 pcu / hour and the lowest showed intersection Veteran showed 7 feet with the number of stops vehicle (NSV) 286.74 pcu / hour. And for the intersection delay with an average of 24.180 sec / smp. Thorough analysis of the results shows that the intersection of Charitas's street has been necessary to apply a dynamic junction system.

Keywords : *Signalized intersection, Dynamic, Actuated.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring meningkat pesat pertumbuhan penduduk dan perkembangan Kota serta aktivitas manusia dan ruang lingkup kehidupan, maka tidak dapat dipungkiri lagi saat ini hampir setiap kota besar di Indonesia dihadapkan pada problem transportasi yang cukup serius, antara lain adalah kemacetan dan tundaan pada ruas-ruas jalan terutama di persimpangan jalan. Kemacetan lalu lintas dapat menimbulkan banyak masalah, dampak terbesar akibat kemacetan lalu lintas sangat dirasakan oleh pengguna jalan, hal ini disebabkan karena adanya penurunan

kecepatan perjalanan, maka berakibat semakin panjang waktu perjalanan yang harus ditempuh oleh penggunajalan, sehingga biaya perjalanan yang harus ditanggung pengguna jalan semakin besar. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dibuat kontrol lampu lalu lintas sistem detektor yaitu (*traffic actuated*), dikarenakan sistem ini mengatur waktu siklus dan panjang fase secara berkelanjutan disesuaikan dengan kedatangan arus lalu lintas setiap saat. Kemudian ditentukan nilai waktu hijau maksimum dan minimum. Alat detektor dipasang disetiap cabang simpang untuk mendeteksi kendaraan yang lewat, kemudian data disimpan dalam memori lalu diolah untuk mendapatkan nilai tambah waktu

diatas nilai waktu hijau minimum untuk suatu cabang simpang. Oleh karena itu sistem pengaturan ini sangat peka terhadap situasi dan sangat efektif jika diterapkan meminimumkan tundaan pada simpang tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang dirumuskan dalam penulisan laporan ini sendiri antara lain:

1. Bagaimana menentukan lokasi persimpangan bersinyal yang tepat untuk diterapkan persimpangan dinamis (*Actuated Traffic Control System*).
2. Bagaimana tingkat kinerja simpang di Kota Palembang dalam mengatasi konflik yang sering terjadi di persimpangan dilihat dari kapasitas simpang dan derajat kejenuhan, panjang antrian, kendaraan terhenti dan tundaan berkenaan dengan manajemen simpang bersinyal.
3. Bagaimana menentukan waktu *traffic light* yang dipengaruhi oleh fluktuasi arus lalu lintas yang tidak menentu (*fully actuated signal*)

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui lokasi persimpangan yang paling tepat untuk diterapkan (*Actuated Traffic Control System*).
2. Untuk mengetahui kinerja persimpangan di kota Palembang berkenaan dengan manajemen simpang bersinyal dilihat dari kapasitas simpang dan derajat kejenuhan, panjang antrian, kendaraan terhenti dan tundaan.
3. Untuk mengidentifikasi dan menentukan waktu optimal *traffic light* pada setiap lengan simpang bersinyal dengan fluktuasi arus lalu lintas yang berbeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Actuated Traffic Control System atau yang lebih dikenal dengan istilah sinyal lampu lalu lintas dinamis adalah suatu sistem pengendalian lalu lintas berbasis teknologi informasi pada suatu kawasan persimpangan yang bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja jaringan jalan melalui optimasi dan pengaturan lampu lalu lintas (*traffic light*) di setiap persimpangan. Sehingga para pengguna jalan mendapatkan waktu tundaan dan panjang antrian yang minimum.

Dengan penerapan operasional sinyal lampu lalu lintas dinamis sebagai pengatur pengendalian waktu siklus (*traffic light*), maka akan meningkatkan kapasitas simpang untuk melayani kebutuhan lalu lintas terutama pada jam-jam sibuk (*peak hour*), dan juga menjadikan waktu perjalanan yang lebih pendek, penurunan tingkat resiko kecelakaan, serta memberikan kenyamanan dan keselamatan yang lebih

tinggi bagi pejalan kaki dan para pengguna jalan. Persimpangan dinamis sangatlah diperlukan pada persimpangan yang ada di kota-kota besar yang mempunyai banyak titik konflik pergerakan lalu lintas dan jumlah volume lalu lintas yang cukup tinggi (Wishnukoro, 2008)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Menentukan Lokasi Penelitian Untuk Penerapan Persimpangan Bersinyal Waktu Tidak Tetap (*Actuated Traffic Control System*)

Sebelum menentukan lokasi persimpangan yang akan diterapkan sistem persimpangan dinamis, maka tahap awal yang dilaksanakan adalah melakukan survei volume lalu lintas di tiga persimpangan yang direncanakan, yaitu simpang Charitas, Simpang Polda, dan Simpang Tanjung Api-Api. Ketiga simpang ini dipilih karena terletak di Jalan Jenderal Sudirman yang merupakan jalur arteri primer di Kota Palembang. Survei volume lalu lintas ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepadatan pada masing-masing persimpangan. Dari ke tiga persimpangan yang diteliti dan setelah dilaksanakannya survei volume lalu lintas, maka dipilih simpang Charitas yang memiliki kepadatan volume lalu lintas paling tinggi dan memenuhi kriteria untuk diterapkan sistem persimpangan bersinyal waktu tidak tetap (*Actuated Traffic Control System*).

Data-Data Yang Diperlukan Untuk Perencanaan Simpang Dinamis

Adapun data primer yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Data volume lalu lintas adalah data yang diperoleh dari hasil survei lapangan secara langsung, data ini digunakan untuk menilai kepadatan lalu lintas yang ada. Dengan berpedoman menggunakan metode perhitungan simpang yang ada didalam Manual kapasitas Jalan Indonesia 1997, maka akan didapatkan nilai kapasitas lalu lintas (smp/jam), panjang antrian (meter), kendaraan berhenti (smp/jam), dan tundaan (det/smp).
2. Data tundaan adalah data yang diperlukan untuk melakukan kalibrasi dari hasil perhitungan dengan MKJI 1997. Biasanya dalam perhitungan ini, ada dilapangan, sehingga diperlukan data tundaan maupun panjang antrian agar didapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi dilapangan.
3. Data kecepatan lalu lintas dipergunakan untuk mengetahui tingkat kondisi pelayanan ruas jalan/segmen dalam jalan.
4. Data Arus Jenuh adalah data yang dipergunakan untuk mengetahui tingkat kinerja persimpangan, dan juga dipergunakan dalam mencari nilai kapasitas dan derajat kejenuhan di persimpangan.

5. Data waktu siklus adalah data yang dipergunakan untuk mengetahui tingkat kondisi tundaan dan panjang antrian di persimpangan.
6. Data Geometri Simpang Data geometri simpang selain diperlukan dalam perhitungan lalu lintas juga digunakan untuk perencanaan pemasangan alat lalu lintas seperti lampu lalu lintas, kamera pengawas, monitor display dan peralatan pendukung lainnya.
7. Data *Headway* adalah data yang dipergunakan untuk menghitung waktu siklus perencanaan simpang bersinyal waktu tidak tetap.
8. Data kendaraan berhenti pada suatu pendekatan, adalah data yang dipergunakan untuk menghitung panjang antrian geometri persimpangan.

Adapun data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data Jumlah Penduduk Kota Palembang. Data ini diperlukan untuk mengetahui data faktor penyesuaian ukuran kota yang diperlukan untuk menghitung arus jenuh di persimpangan.

Metode Analisis

Metode yang digunakan untuk menganalisis perencanaan dan penerapan persimpangan waktu sinyal tidak tetap (*Traffic Actuated operation*) pada persimpangan di Kota Palembang ini menggunakan Metode MKJI 1997, MKJI adalah sebuah buku pedoman dan panduan untuk menghitung kapasitas dan perilaku lalu lintas di segmen-segmen jalan (mikro) di Indonesia, sehingga tidak dapat digunakan untuk melihat atau menganalisis kinerja jaringan jalan secara makro. MKJI dirancang untuk memudahkan dalam menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan kapasitas jalan di Indonesia, termasuk untuk masalah persimpangan bersinyal. Penggunaan MKJI 1997 biasanya digunakan untuk melihat kinerja simpang bersinyal dan tidak bersinyal, kinerja ruas jalan, jalanan, dll yang terisolasi (*isolated*). Berdasarkan MKJI 1997, akan dapat diketahui kondisi arus lalu lintas, tingkat pelayanan simpang, yang terjadi pada daerah studi seperti mencakup volume lalu lintas, panjang antrian, derajat kejenuhan, dan tundaan lalu lintas di persimpangan.

Adapun isi dari tiap-tiap perhitungan persimpangan sebagai berikut:

Kondisi Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pada penggal jalan tertentu pada interval waktu tertentu dan diukur dalam satuan kendaraan persatuan waktu tertentu. Data lalu lintas dibagi dalam tipe kendaraannya seperti kendaraan tidak bermotor (UM) sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV). Setiap approach harus dihitung perbandingan belok kiri (ρ_{LT}) dan

perbandingan kanan (ρ_{RT}) yang dirumuskan dibawah ini :

$$\rho_{LT} = \frac{LT \text{ (smp/jam)}}{\text{Total (smp/jam)}} \quad (1)$$

$$\rho_{RT} = \frac{RT \text{ (smp/jam)}}{\text{(Total/jam)}} \quad (2)$$

Keterangan :

LT = Arus lalu lintas belok kiri

RT = Arus lalu lintas belok kanan

Kondisi Geometrik dan Lingkungan

Kondisi geometri dan lingkungan Kondisi geometri dapat digambarkan dalam bentuk gambar sketsa yang memberikan informasi lebar jalan, lebar bahu dan lebar median serta petunjuk arah untuk tiap lengan simpang. Data ini bertujuan untuk perhitungan tingkat kinerja persimpangan.

Tingkat Kinerja Simpang

Kinerja suatu simpang didefinisikan sebagai ukuran kuantitatif yang menerangkan kondisi operasional fasilitas simpang, pada umumnya dinyatakan dalam kapasitas, derajat kejenuhan, kecepatan rata-rata, waktu tempuh, tundaan, peluang antrian, panjang antrian atau rasio kendaraan berhenti (MKJI 1997). Beberapa komponen kinerja persimpangan bersinyal terdiri dari:

Arus Jenuh (*Saturation flow*)

Arus Jenuh (S) dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian dari arus jenuh dasar (S_0), untuk keadaan standar, dengan faktor penyesuaian (F) untuk penyimpangan dari kondisi sebenarnya dari suatu kumpulan kondisi-kondisi (ideal) yang telah ditetapkan sebelumnya.

Arus jenuh (*Saturation Flow*) pada persimpangan dapat dihitung dengan rumus:

$$S = S_0 \times F_{cs} \times F_{sf} \times F_g \times F_p \times F_{rt} \times F_{lt} \text{ (smp/jam hijau)} \quad (3)$$

Dengan :

S = Arus jenuh (smp/waktu hijau efektif)
 S_0 = Arus jenuh dasar (smp/waktu hijau efektif)
 F_{cs} = Faktor ukuran kota (dalam juta)
 F_{sf} = Faktor koreksi hambatan samping
 F_g = Faktor penyesuaian kelandaian (gradien)
 F_p = Faktor penyesuaian parkir di badan jalan
 F_{rt} = Faktor belok kanan
 F_{lt} = Faktor belok kiri

Akan tetapi untuk pendekatan terlindung arus jenuh dasar ditentukan sebagai fungsi dan lebar efektif pendekatan (W_e):

$$S = 600 \times W_e \quad (4)$$

Untuk perhitungan arus jenuh (S) maka diperlukan beberapa tabel yang berisikan faktor-faktor koreksi yaitu :

Tabel 1. Faktor penyesuaian ukuran kota Fcs

(Sumber: MKJI, 1997)

Tabel 2. Faktor Penyesuaian Untuk tipe lingkungan jalan, hambatan samping dan kendaraan tak bermotor

Lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe fase	Rasio kendaraan tak bermotor						
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	≥0,25	
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70	
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81	
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71	
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72	
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83	
Permukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72	
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,99	0,86	0,84	
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73	
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74	
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86	
Akses terbatas (RA)	Tinggi/Sedang/Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	

(Sumber: MKJI, 1997)

Perbandingan Arus Dengan Arus Jenuh

Perhitungan perbandingan arus (Q) dengan arus jenuh (S) untuk tiap *approach* dihitung dengan Persamaan dibawah ini :

$$FR=Q/S \dots\dots\dots (5)$$

Perbandingan arus kritis

Perbandingan ini yaitu nilai perbandingan arus tertinggi dalam tiap fase. Jika nilai perbandingan arus kritis untuk tiap fase dijumlahkan akan didapat perbandingan arus simpang dengan dibawah ini :

$$IFR=\sum(FR_{CRIT}) \dots\dots\dots \text{Persamaan (6)}$$

Perbandingan Fase

Perhitungan perbandingan fase (phase ratio, PR) untuk tiap fase merupakan suatu fungsi perbandingan antara FR_{CRIT} dengan IFR. Persamaan dibawah ini.

$$PR=FR_{CRIT}/IFR \dots\dots\dots (7)$$

Menghitung Waktu Siklus Untuk Persimpangan Dinamis

Penentuan waktu sinyal untuk keadaan dengan kendali waktu berubah dilakukan berdasarkan rumus dinamis. Rumus yang akan digunakan untuk menghitung waktu siklus dinamis menggunakan rumus Drew (US) model.

Waktu siklus dihitung dengan rumus :

$$C = \frac{3600 \times n \times (k-H)}{3600 - K \times (\sum Vi)} \dots\dots\dots (8).$$

Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (Fcs)
>3,0	1,05
1,0-3,0	1
0,5-1,0	0,94
0,1-0,5	0,83
<0,1	0,82

Keterangan:

C = Panjang siklus, perdetik

n = Jumlah fase

K = Kehilangan waktu per fase, detik

H =Jarak Antar Kendaraan yang Melewati Kaki Persimpangan (detik)

Total waktu hilang persiklus.

Untuk Periode *allred* antara fase harus sama atau lebih besar dari *clearance time*. Setelah waktu *allred* ditentukan, total waktu hilang (LTI) dapat dihitung sebagai penjumlahan periode waktu antar hijau (IG).

$$LTI = \sum (allred + amber) \dots\dots\dots \sum IGI \dots\dots\dots (9)$$

Waktu hijau (g)

Penghitungan waktu hijau untuk tiap fase dijelaskan pada Persamaan dibawah ini

$$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR_i \dots\dots\dots (10).$$

Keterangan :

g_i = waktu hijau dalam fase – i(detik)

c = waktu siklus yang ditentukan (detik)

LTI = total waktu hilang persiklus.

PR_i = perbandingan fase $FR_{crit} \div \sum (FR_{crit})$

Waktu siklus yang disesuaikan

Waktu siklus ini berdasar pada pembulatan waktu hijau yang diperoleh dan waktu hilang (LTI).yang dihitung dengan Persamaan .

$$c = \sum g + LTI \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan :

$\sum g$ = Seluruh waktu hijau dalam fase (detik)

LTI = Total waktu hilang persiklus.

Kapasitas (C)

Definisi kapasitas (C) yaitu jumlah arus lalu lintas yang maksimum yang dapat melalui suatu lengan persimpangan dalam kondisi yang tersedia yang dapat dipertahankan. Kondisi lalu lintas yang dimaksud yaitu volume setiap kedatangan kendaraan, distribusi kendaraan berdasarkan pergerakannya (belok kiri, terus, dan belok kanan), pergerakan parkir disekitar lengan yang ditinjau

Kapasitas simpang dapat dihitung dengan rumus:

$$C = S \times g/c \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

C = Kapasitas (smp/jam)

S = Arus Jenuh (smp/jam hijau)

G = Waktu Hijau (detik)

c = Waktu Siklus, yaitu selang waktu untuk urutan perubahan sinyal yang lengkap.

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah rasio antara total arus (smp/jam) dan kapasitas (smp/jam) dengan kondisi geometric, pola dan komposisi lalu lintas tertentu, dan faktor lingkungan tertentu pula (MKJI, 1996).

Derajat kejenuhan (DS) diperoleh dengan formula sebagai berikut :

$$DS = Q / C \\ = (Q \times c) / (S \times g) \dots\dots\dots \text{Persamaan} \\ (13)$$

Keterangan :

DS = Derajat kejenuhan

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

C = Kapasitas (smp/jam)

Panjang Antrian

Panjang antrian (*queue length*) merupakan jumlah kendaraan yang antri pada suatu pendekat. Pendekat adalah daerah suatu lengan persimpangan jalan untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis henti. Satuan panjang antrian yang digunakan adalah satuan mobil penumpang (MKJI, 1997).

Dari nilai derajat jenuh yang didapat maka dipergunakan untuk menghitung jumlah antrian smp (NQ1) yang merupakan sisa dari fase hijau terdahulu. Maka dapat dicari dengan rumus dan gambar berikut:

Untuk

$$ds > 0.5$$

$$NQ1 = 0,25 \times C \times [(ds - 1) - \sqrt{(ds-1)^2 - \frac{8 \times (ds-0,5)}{C}}] \dots\dots (14)$$

Untuk $ds \leq 0.5$ maka $NQ1 = 0$

Keterangan :

NQ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

ds = Derajat jenuh

GR = Derajat hijau

C = Kapasitas (smp/jam) S x GR

Setelah itu dihitung jumlah antrian smp yang datang selama fase lampu merah (NQ2) dengan rumus berikut:

$$NQ2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times ds} \times \frac{Q}{3600} \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan :

NQ2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah

Q = Volume lalu lintas yang masuk di luar LTOR (smp/detik)

c = Waktu siklus (detik)

ds = derajat jenuh

GR = Rasio hijau (detik)

Untuk dapat menghitung jumlah antrian total dengan menjumlahkan kedua hasil di atas.

$$NQ = NQ1 + NQ2 \dots\dots\dots (16)$$

Untuk penghitungan panjang antrian (QL) di dapatkan dari hasil perkalian antara NQMAX dengan rata-rata area yang ditempati tiap smp (20m²) dan dibagi lebar entry (WENTRY), yang dirumuskan dibawah ini.

$$QL = NQ_{\max} \times \frac{20}{W_{\text{entry}}} \text{ (meter)} \dots\dots\dots (17)$$

Kendaraan Terhenti

Angka kendaraan henti (NS) adalah jumlah rata-rata berhenti kendaraan per simpang juga termasuk berhenti berulang dalam suatu antrian. Angka henti pada masing-masing pendekat ini dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan :

C = waktu siklus (detik)

Q = arus lalu lintas (smp/jam)

Jumlah kendaraan terhenti (NSV) pada masing-masing pendekat dapat dihitung dengan rumus :

$$NSV = Q \times NS \text{ (smp/jam)} \dots\dots\dots (19)$$

Angka henti seluruh simpang didapatkan dengan membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/jam.

$$NS_{\text{tot}} = \frac{\sum NSV}{Q_{\text{tot}}} \dots\dots\dots (20)$$

Tundaan Lalu Lintas dan Tundaan Geometri

Tundaan menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui suatu simpang. Tundaan terdiri dari tundaan lalu lintas yaitu waktu menunggu yang disebabkan oleh interaksi lalu-lintas dan tundaan geometri yang disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok disimpangan dan atau yang terhenti karena lampu lalu lintas.

a. Tundaan Lalu Lintas

Tundaan lalu lintas (DT) karena interaksi lalulintas dengan gerakan lainnya pada suatu simpang. Dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$DT = C \cdot \frac{0,5 (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)} + \frac{NQ \cdot 1 \times 3600}{C} \dots\dots\dots (21)$$

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	<5	Baik Sekali
B	5.1 – 15	Baik
C	15.1 – 25	Sedang
D	25.1 – 40	Kurang
E	40.1 – 60	Buruk
F	>60	Buruk Sekali

(21)

Keterangan :

DT = Tundaan lalulintas rata-rata pada pendekat (smp/jam)
 GR = Rasio hijau (g/c)
 DS = Derajat kejenuhan
 C = Kapasitas (smp/jam)
 NQ1 = Jumlah smp yang tertinggal dari fase sebelumnya

Hasil perhitungan tidak berlaku jika kapasitas simpang dipengaruhi oleh faktor-faktor luar seperti terhalangnya jalan keluar akibat kemacetan pada bagian hilir, pengaturan oleh polisi secara manual dan sebagainya.

b. Tundaan Geometri

Tundaan geometri (DG) karena perlambatan dan percepatan saat membelok pada suatu simpang dan atau terhenti karena lampu merah. Dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$DG = (1 - Psv) \times Pt \times 6 (Psv \times 4) \dots\dots\dots (22).$$

Keterangan :

DG = Tundaan geometri rata-rata pendekat (detik/jam)
 Psv = Rasio kendaraan terhenti pada suatu pendekat

Pt = Rasio kendaraan berbelok pada suatu pendekat.

Tundaan rata-rata (D rata-rata) jumlah dari perhitungan tundaan lalu lintas dan tundaan geometrik, dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$D_{rata-rata} = DT + DG \dots\dots\dots (23)$$

Tundaan total:

$$Dt_{tot} = D_{rata-rata} \times Q \dots\dots\dots (24)$$

Tundaan simpang rata-rata (detik/smp):

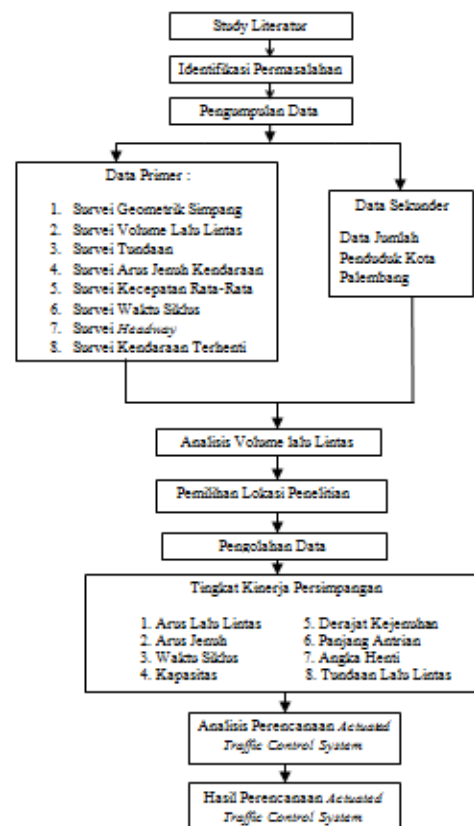
$$D_{rata-rata} = \frac{Dt_{tot}}{Q_{tot}} \dots\dots\dots (25)$$

Tingkat tundaan dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelayanan, baik untuk setiap mulut persimpangan maupun seluruh persimpangan. Kaitan antara tingkat pelayanan dan lamanya tundaan dapat dilihat pada Tabel 3. dibawah ini :

Tabel 3. Tingkat Pelayanan Persimpangan

(Sumber: MKJI 1997)

Berikut ini adalah diagram alir urutan kerja penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Arus lalu lintas

Karakteristik arus lalu lintas berdasarkan nilai phf tertinggi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Arus Lalu Lintas Tiap Lengan persimpangan Berdasarkan Kondisi PHF Tertinggi (smp/jam)

Tipe Kendaraan	Lengan Kapten Arivai (B)			Lengan Veteran (T)			Lengan Sudirman(Polda) (U)			Lengan Cinde (S)		
	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR
LV	100	169	9	139	11	97	198	73	119	195	128	127
HV	0	3	0	0	33	0	20	10	9	13	1	1
MC	25	45	1	28	25	21	106	19	25	37	33	33
UM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	125	217	10	167	69	118	324	103	153	245	162	161

Analisis Persimpangan Untuk Perencanaan Penerapan Simpang Dinamis

Sebelum menentukan persimpangan bersinyal untuk diterapkan perencanaan persimpangan dinamis, langkah awal yang dilakukan adalah dengan melaksanakan survei volume kendaraan di tiga persimpangan yang ada di Kota Palembang. Adapun Simpang yang di teliti meliputi Simpang Tanjung Api-Api, Simpang Polda, dan Simpang Charitas. Setelah dilakukan analisis di ketiga Simpang tersebut yang dapat dilihat dari hasil survei pada tabel IV.2. Maka dipilih simpang Charitas yang memiliki tingkat volume kendaraan paling padat dan memenuhi kriteria untuk diterapkan sistem persimpangan bersinyal waktu tidak tetap (*Actuated Traffic Control System*).

Menentukan Waktu Siklus Untuk Persimpang Bersinyal Dinamis

Waktu siklus dirancang berubah-ubah pada setiap fase dengan bergantung kepada nilai *headway*, nantinya waktu siklus ini akan dimasukkan ke alat pengaturan sinyal *traffic light*. Adapun hasil perencanaan waktu siklus dapat dilihat pada Tabel 5. Dibawah ini

Data Waktu Siklus Dinamis											
Headway	Kapten Arivai			Veteran			Sudirman (Polda)			Sudirman (Cinde)	
	e (dtk)	M (dtk)	H (dtk)	C (dtk)	M (dtk)	H (dtk)	e (dtk)	M (dtk)	H (dtk)	C (dtk)	M (dtk)
1	48	36	9	48	38	7	48	35	10	48	34
1,5	46	34	9	46	36	7	46	33	10	46	33
2	44	33	8	44	35	6	44	32	9	44	31
2,5	42	31	8	42	33	6	42	30	9	42	30
3	40	30	7	40	31	6	40	29	8	40	28
3,5	38	28	7	38	30	5	38	27	8	38	27
4	35	26	6	35	27	5	35	25	7	35	25
4,5	33	24	6	33	26	4	33	24	6	33	23
5	31	23	5	31	24	4	31	22	6	31	22

Tabel 5. Waktu siklus Dinamis Simpang Charitas Menghitung Panjang Antrian Dengan Metode MKJI

Dari tahap-tahap perhitungan dengan menggunakan metode MKJI 1997didapat hasil perhitungan untuk mencari panjang antrian yang akan disajikan pada Tabel 6. Berikut.

Penentuan Panjang Antrian Masing-Masing Lengan Simpang Charitas				
Lengan	Kapten Arivai	Veteran	Sudirman (Polda)	Sudirman (Cinde)
lebar efektif (We) (m)	8,75	11,65	12,95	12,2
Arus Jenuh dasar (So)	5250	6990	7770	7320
Arus jenuh (S) (smp/jam)	4935	6571	7304	6881
Waktu siklus (c) (detik)	44	43	38	40
Waktu hijau (detik)	8	6	8	8
Kapasitas pendekat (C)	891	875	1381	1380
Derajat Kejenuhan (DS)	0,395	0,404	0,419	0,411
NQ1	0	0	0	0
NQ2	3,796	3,85	5,303	5,501
NQ	3,79	3,85	5,303	5,501
Panjang antrian (QL) (m)	9	7	9	10

Dapat dilihat pada tabel diatas nilai panjang antrian terbesar berada pada lengan Sudirman arah Cinde dengan panjang antrian 10 meter dan panjang antrian terendah berada pada lengan Veteran dengan panjang antrian 7 meter. Nantinya nilai panjang antrian pada tiap-tiap lengan ini digunakan untuk menentukan letak pemasangan alat detektor.

Menghitung Kendaraan Terhenti (NS)

Jumlah kendaraan terhenti dihitung pada masing-masing lengan simpang dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Jumlah kendaraan terhenti untuk lengan Kapten Arivai sebesar 0,732 stop/smp, untuk lengan Veteran sebesar 0,81 stop/smp, untuk lengan Sudirman arah Polda sebesar 0,77 stop/smp, sedangkan untuk lengan Sudirman arah Cinde sebesar 0,78 stop/smp.

Menghitung Kendaraan Terhenti (NSV)

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Keterangan
A	<5	Baik Sekali
B	5.1 – 15	Baik
C	15.1 – 25	Sedang
D	25.1 – 40	Kurang
E	40.1 – 60	Buruk
F	>60	Buruk Sekali

Berikut jumlah NSV untuk masing-masing pendekat:

Untuk lengan Kapten Arivai didapat nilai NSV sebesar 257,96 smp/jam, untuk lengan Veteran sebesar 286,74 smp/jam, untuk lengan Sudirman arah Polda sebesar 446,6 smp/jam, sedangkan untuk lengan Sudirman arah Cinde sebesar 443,04 smp/jam

Angka henti seluruh simpang didapatkan dengan membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/jam

Maka untuk angka henti pada simpang didapat 0,77 stop/smp.

Menghitung Tundaan

Tundaan lalu lintas

Dari hasil perhitungan menggunakan metode MKJI 1997 didapat nilai tundaan pada lengan Kapten Arivai sebesar 23,231 detik/smp, lengan Veteran sebesar 24,268 detik/smp, lengan Sudirman arah Polda sebesar 20,321 detik/smp, dan lengan Sudirman arah Cinde sebesar 21,310 detik/smp.

Menghitung Tundaan Geometri

Dari hasil perhitungan dengan metode MKJI 1997 didapat tundaan geometri pada lengan Kapten Arivai sebesar 3,03 detik/smp, tundaan geometri lengan Veteran sebesar 1,94 detik/smp, tundaan geometri lengan Sudirman arah Polda sebesar 1,87 detik/smp, dan tundaan geometri lengan Sudirman arah Cinde sebesar 2,339 detik/smp.

Untuk tundaan rata-rata perlengan didapat:

Lengan Kapten Arivai sebesar 26,261 detik/smp, lengan Veteran sebesar 26,208 detik/smp, lengan Sudirman arah Polda sebesar 22,191 detik/smp, dan lengan Sudirman arah Cinde sebesar 23,66 detik/smp.

Untuk tundaan total perlengan didapat:

Lengan Kapten arivai sebesar 9243,872 detik/smp, lengan Veteran sebesar 9277,632 detik/smp, lengan Sudirman arah Polda sebesar 12870,78 detik/smp, dan lengan Sudirman arah cinde sebesar 13438,88 detik/smp.

Maka untuk tundaan simpang rata-rata didapat 24,180 det/smp.

Tingkat tundaan dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelayanan, baik untuk setiap mulut persimpangan maupun seluruh persimpangan. Kaitan antara tingkat pelayanan dan lamanya tundaan dapat dilihat pada table 6.

Tabel 7. Tingkat Pelayanan Persimpangan

Dapat dilihat pada Tabel 6. diatas tingkat pelayanan simpang charitas berada pada tingkat pelayanan C dengan tundaan 24,180 (det/smp) dengan keterangan tingkat pelayanan sedang.

5. Pembahasan

1. Dari hasil analisis data volume lalu lintas yang didapat dari hasil survei pada 3 persimpangan bersinyal yang ada di Kota Palembang meliputi simpang Charitas, simpang Polda, dan simpang Tanjung Api-Api menunjukkan persimpangan Charitas memiliki tingkat volume lalu lintas paling tinggi dibandingkan dengan simpang Tanjung Api-Api dan simpang Polda dengan jumlah volume lalu lintas sebesar 14073 kendaraan/hari dan volume smp 949912 smp/hari. Maka ditentukan lokasi penelitian untuk perencanaan persimpangan bersinyal dinamis pada simpang Charitas.
2. Untuk penentuan waktu siklus tiap lengan persimpangan dinamis diatur berubah-ubah tergantung pada nilai headway, semakin besar nilai headway maka waktu siklus diatur lebih pendek Hal ini dikarenakan untuk nilai headway yang lebih tinggi artinya persimpangan pada saat itu dalam kondisi padat.
3. Pada hasil perhitungan waktu siklus dinamis dengan menggunakan nilai headway rata-rata diperoleh bahwa waktu siklus paling besar berada pada lengan Kapten Arivai dengan waktu siklus 44 detik dengan waktu hijau 8 detik dan waktu merah 36 detik dengan memasukkan data headway sebesar 2,02 detik. Artinya kondisi lengan persimpangan ini dalam kondisi tidak terlalu padat karena semakin besar nilai waktu siklus maka semakin kecil nilai derajat kejenuhan dan panjang antrian pada lengan ini. Untuk waktu

siklus terendah berada pada lengan Sudirman arah Polda dengan waktu siklus 38 detik dengan waktu hijau 8 detik dan waktu merah 27 detik dengan memasukkan data headway sebesar 3,34 detik. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa lengan persimpangan Kapten Arivai kondisinya lebih baik dibandingkan simpang Sudirman arah Polda.

4. Pada hasil perhitungan didapat panjang antrian maksimum tertinggi berada pada lengan Sudirman arah Cinde sepanjang 10 meter, dan panjang antrian terendah berada pada lengan Veteran sepanjang 7 meter. Jarak panjang antrian maksimum ini akan digunakan untuk meletakkan pemasangan alat detektor.
5. Dari tahap-tahap seluruh perhitungan didapat tundaan simpang rata-rata sebesar 24,180 det/smp, sehingga untuk simpang Charitas dengan perencanaan sistem persimpangan dinamis dikategorikan berada pada range tingkat pelayanan simpang sedang.

6. Kesimpulan

1. Pada ketiga persimpangan bersinyal yang dianalisis untuk perencanaan penerapan sistem persimpangan dinamis, dipilih simpang charitas karena memiliki tingkat volume lalu lintas yang paling padat yaitu berjumlah 141073 kendaraan dan volume smp nya berjumlah 949912 smp/jam.
2. Lebar efektif We ditentukan oleh lebar Wmasuk untuk masing-masing lengan maka didapat nilai arus jenuh terbesar pada lengan Sudirman arah Polda sebesar 7304 dan arus jenuh terkecil pada lengan Kapten arivai sebesar 4935. Nilai rasio arus simpang IFR didapat sebesar 0,285
3. Waktu siklus dinamis untuk setiap lengan persimpangan dapat berubah-ubah tergantung pada nilai *headway*, semakin besar nilai *headway* maka semakin sedikit waktu siklus yang diberikan.
4. Untuk waktu siklus rata-rata pada masing-masing lengan didapat waktu siklus terbesar pada lengan Kapten arivai sebesar 44 detik dengan nilai headway rata-rata 2,02 detik, dan waktu siklus terendah pada lengan Sudirman arah Polda sebesar 38 detik dengan nilai *headway* sebesar 3,34 detik.
5. Untuk waktu hijau rata-rata pada masing-masing lengan persimpangan dinamis didapat waktu hijau terbesar pada lengan Kapten Arivai, Sudirman arah Polda, dan Sudirman arah Cinde dengan waktu hijau sebesar 8 detik sedangkan waktu siklus terkecil terletak pada lengan Veteran dengan waktu hijau sebesar 6 detik.
6. Untuk kapasitas simpang setelah diterapkan perencanaan persimpangan dinamis didapat kapasitas simpang terbesar pada lengan

sudirman arah Polda dengan kapasitas 1381 smp/jam dan kapasitas simpang terkecil pada lengan Veteran sebesar 875 smp/jam.

7. Nilai derajat kejenuhan (DS) terbesar terletak pada lengan Sudirman arah Polda sebesar 0,419 dan terkecil pada lengan Kapten Arivai sebesar 0,395.
8. Untuk panjang antrian pada masing-masing lengan didapat panjang antrian terbesar pada lengan Sudirman arah cinde sebesar 10 meter dengan jumlah kendaraan berhenti (NSV) sebesar 443,04 smp/jam dan terkecil pada lengan Veteran sebesar 7 meter dengan jumlah kendaraan terhenti (NSV) sebesar 286,74 smp/jam.
9. Untuk panjang antrian yang datang selama fase waktu merah, setelah diterapkan perencanaan persimpangan dinamis didapat jumlah antrian lebih kecil dibandingkan dengan data hasil survei dilapangan dimana data hasil survei tundaan rata-rata didapat 8 kendaraan untuk nilai jumlah antrian sedangkan jumlah antrian rata-rata yang dilakukan dengan perhitungan didapat 4 kendaraan, artinya penerapan simpang dinamis ini cukup baik karena dapat meminimumkan tundaan.
10. Pada hasil perhitungan tundaan lalu lintas dan tundaan geometri didapat tundaan simpang rata-rata sebesar 24,180 det/smp.
11. Untuk simpang Charitas yang diterapkan perencanaan persimpangan bersinyal waktu tidak tetap (*actuated traffic control system*) ditinjau dari hasil tundaan simpang rata-rata sebesar 24,180 detik termasuk didalam range tingkat pelayanan C dengan keterangan tingkat pelayanan sedang.

Saran

1. Perencanaan persimpangan bersinyal waktu tidak tetap (*Actuated Traffic Control system*) sangat baik diterapkan pada simpang charitas karena dan meminimumkan jumlah antrian kendaraan dan meningkatkan pelayanan persimpangan di simpang Charitas.
2. Sebaiknya waktu APILL dilakukan Pengaturan ulang kembali dengan pewaktuan perencanaan persimpangan bersinyal dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Haryanto, Jono, *Perencanaan Persimpangan Sebidang Jalan Raya*, JTS, FTSPUSU, Sumatra Utara, 2004.
- Morlok, 1978. *Pengantar Teknik dan Perencanaan transportasi, terjemahan dari Introduction To Transportation Engineering and Planning*, MC Graw – Hill Kogakusha.

- Oglesby, C. H. dan Hicks, R. G. 1993. *Teknik Jalan Raya*. Jilid I Edisi IV. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Tamin, Ofyar Z. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung : 2000
- Warpani S, 2002. *Pengolahan Lalu Lintas dan Angkatan Jalan*. ITB, Bandung
- Wishnukoro, *Analisis Simpang Empat Tak Bersinyal Dengan Menggunakan Manajemen Lalu Lintas*, Tugas Akhir, JTS, FTSPUII, Yogyakarta, 2008.
- Departemen Pekerjaan Umum, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Direktorat Jendral Bina Marga Indonesia, 1997.
- Departemen Pekerjaan Umum, *Pedoman Teknis Pengaturan Lalu Lintas di Persimpangan Berdiri Sendiri* dengan APILL,